COMMENT CONCEPTUALISER LA HAUTEUR DU SOLEIL EN TANT QU'ANGLE AU CYCLE 3 ?

Hélène Merle
Valérie Munier

La hauteur du Soleil est souvent assimilée à une longueur alors qu'elle désigne, en astronomie, l'angle que fait la direction de visée du Soleil avec le plan horizontal. Avec des élèves de 10-11 ans, cette conception se double d'une difficulté supplémentaire liée au concept d'angle.
Nous avons confronté quatre classes de cours moyen au problème du repérage de la hauteur du Soleil et comparé deux méthodes couramment employées dans les classes : la méthode de l'ombre portée sur le sol d'un objet vertical et la méthode de visée directe du Soleil.
L'analyse des séquences et des évaluations a posteriori montre d'une part que la majorité des élèves est capable d'identifier la hauteur du Soleil à un angle, alors même que cette identification était laissée à leur charge. D'autre part la méthode de visée, qui confronte les élèves à la conception d'un instrument de mesure de la hauteur du Soleil puis à son utilisation, s'avère plus pertinente pour atteindre l'objectif visé.

1. INTRODUCTION

Les programmes français de sciences expérimentales pour le cycle des approfondissements (Bulletin Officiel n° 1, 14 février 2002) précisent que "*l'objectif est en tout premier lieu d'observer méthodiquement les phénomènes les plus quotidiens*", parmi lesquels "*le mouvement apparent du Soleil*". La démarche préconisée "peut recourir à diverses formes de travail", en particulier l'"*observation directe ou assistée par un instrument, avec ou sans mesure*".

L'observation du mouvement apparent du Soleil confronte les élèves à ses changements de direction, d'est en ouest, au cours de la journée. Cet aspect est largement développé dans les programmes et documents d'application ; il est préparé par des activités relatives aux ombres, aux cadrans solaires et aux points cardinaux et ne sera pas abordé dans cet article.

la hauteur du Soleil : un angle

Mais, lors de sa "course" journalière, le Soleil change également de hauteur depuis son lever jusqu'à son coucher en passant par sa culmination à midi solaire. Ces changements de hauteur sont facilement perceptibles à l'œil nu mais peuvent faire l'objet d'une observation plus approfondie, en particulier si l'on souhaite suivre l'évolution de la hauteur du Soleil au cours des saisons, ou comparer la situation en divers points du globe à une même date.

Concernant cette hauteur du Soleil, les documents d'application soulignent une difficulté provenant des liens avec le vocabulaire courant : "*Dans le langage courant, le mot 'hauteur' désigne une longueur. En revanche dans le contexte de l'astronomie, la 'hauteur' du Soleil... désigne l'angle que font la direction dans laquelle on peut l'observer à un instant donné d'une part, et le plan horizontal d'autre part. [...]. Si l'on n'y prend pas garde, les élèves peuvent assimiler, à tort, 'haut' à 'loin' et 'bas' à 'proche'.*"

difficultés liées...

Cette difficulté a déjà été évoquée dans diverses publications. Ainsi Jean-Michel Rolando, dans *L'astronomie, la Terre et les astres* (Rolando, 1993), parle d'une confusion possible entre la conception de l'astronome et celle de jeunes enfants (figure 1) :

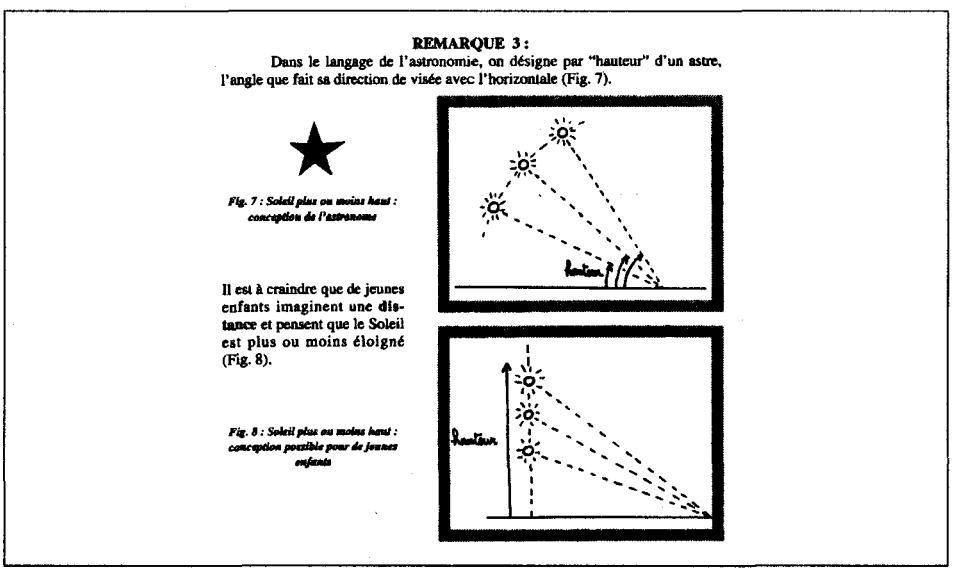


Figure 1.

L'erreur évoquée consiste à concevoir la hauteur du Soleil comme sa distance par rapport au plan horizontal, cette distance étant bien sûr variable au cours de la journée. Une autre conception, plus primitive, consisterait à confondre hauteur du Soleil et distance du Soleil par rapport à la Terre. Dans les deux cas, la hauteur est ainsi assimilée à une longueur.

Il s'agira donc de faire concevoir par les élèves que la hauteur du Soleil n'est pas une distance mais un angle.

...au vocabulaire courant,

Or des travaux de didactique (Berthelot et Salin, 1994-1995) ont montré que la construction de la notion d'angle soulève un certain nombre de difficultés. En effet les élèves ont tendance à définir un angle comme une figure composée de

deux segments de même origine. Ainsi deux figures qui diffèrent par la seule longueur des côtés leur apparaissent comme représentant des angles différents. De plus les élèves ont du mal à reconnaître un angle comme sous-figure d'une figure existante. Enfin d'autres travaux de didactique ont montré que les élèves font difficilement le lien entre les concepts géométriques qui leur sont enseignés et l'espace réel (Berthelot et Salin, 1993-1994).

...à la confusion hauteur-distance,

Si les élèves n'ont jamais abordé le concept d'angle, la séquence sur la hauteur du Soleil peut leur permettre de construire cette notion à partir d'une situation physique dans l'espace réel. Dans le cas où cette notion a déjà été abordée en mathématiques, les élèves auront à identifier cette grandeur dans une situation de l'espace réel : ce travail sur la hauteur du Soleil peut alors aider à consolider le concept d'angle.

...au concept d'angle

Notre recherche a consisté à mettre en œuvre et analyser des séquences d'apprentissage au cours desquelles les élèves doivent prendre conscience que la hauteur du Soleil est un angle et repérer (ou mesurer) cette hauteur. Notre but est d'identifier leurs difficultés, de comparer deux procédures permettant de repérer la hauteur du Soleil et d'analyser en fin d'apprentissage le niveau de conceptualisation des élèves.

2. ANALYSE *A PRIORI*

Les difficultés des élèves peuvent provenir, comme nous l'avons rappelé plus haut, d'un problème de vocabulaire : la hauteur d'une montagne ou d'un immeuble sont des longueurs et s'expriment en mètres. De plus, la première grandeur qui est mesurée à l'école est la longueur et cette première activité de mesure est très prégnante pour les élèves : l'idée de mesurer évoque inévitablement pour eux l'utilisation de la règle ou du double décimètre. Les effets de contrat didactique se cumulent donc aux problèmes liés au vocabulaire.

D'autre part nous avons évoqué plus haut les difficultés liées au concept mathématique d'angle. Dans la situation proposée ici ("Comment repérer la hauteur du Soleil ?"), nous avons choisi de laisser l'identification de la grandeur pertinente, à savoir un angle, à la charge des élèves. Le maître ne définit donc pas, au début de la séquence, ce qu'est la hauteur du Soleil.

Dans un travail antérieur nous avions construit, testé et analysé trois situations dans l'espace réel où la grandeur pertinente est aussi la grandeur angle (Munier, 2001, Munier et Merle, 2002 et 2003). La situation analysée ici se différencie des trois autres. En effet, dans les cas précédents, le phénomène pouvait être étudié dans un plan. Le repérage de

la hauteur du Soleil est plus complexe : les élèves manipulent dans un espace à trois dimensions et doivent isoler dans cet espace le plan vertical, non matérialisé, passant par l'observateur et le Soleil. Il en résulte donc une difficulté supplémentaire par rapport aux trois situations testées précédemment et nous analyserons si cette difficulté peut être surmontée par les élèves.

deux méthodes permettent de repérer la hauteur du Soleil : utilisation des ombres ou visée directe

Les deux méthodes envisagées pour repérer la hauteur du Soleil utilisent soit l'ombre sur le sol d'un objet vertical, cette ombre étant plus ou moins longue selon la hauteur du Soleil, soit une technique directe de visée.

2.1. Méthode de l'ombre portée

On peut supposer que la première méthode, que nous appellerons pour simplifier la "méthode de l'ombre", soit la plus spontanée pour les élèves. Ils ont pour la plupart, en effet, abordé le phénomène des ombres au cours de leur scolarité antérieure et les cadrans solaires sont une référence connue, à la fois dans les pratiques scolaires et dans la culture sociale ; de plus l'aspect décoratif des cadrans solaires en font des objets bien connus des élèves.

la méthode de l'ombre, plus spontanée, s'appuie sur une mesure de longueur,

De plus, cette méthode permet une mesure "tangible" pour les enfants puisqu'ils sont amenés à évoquer la relation entre hauteur du Soleil et longueur de l'ombre, et donc à mesurer la longueur de cette ombre, mesure de longueur qui les conforte dans leurs pratiques habituelles. Avec cette méthode, les élèves devront parvenir à schématiser l'expérience comme suit (figure 2) :

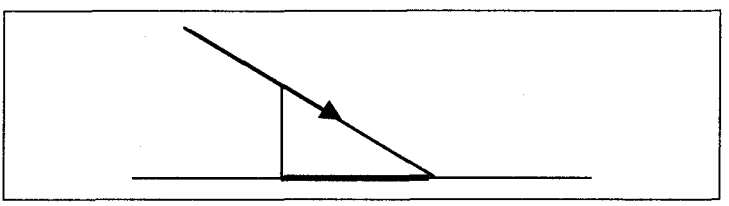


Figure 2.

Notons que la schématisation, pour permettre de déterminer la hauteur du Soleil, doit se faire "de profil" : il s'agit en fait de choisir comme plan de figure le plan vertical contenant le bâton et le Soleil. Cette schématisation suppose la compréhension de la formation des ombres basée sur le modèle de rayons lumineux se propageant en ligne droite. Or des difficultés liées à la notion de trajet rectiligne de la lumière ont été soulignées à plusieurs reprises (Guesne, Tiberghien et Delacôte, 1978 ; Kaminski, 1989) : "*Environ un tiers des élèves [de 13-14 ans] fait correctement appel à la notion de trajet rectiligne de la lumière pour prévoir la grandeur de l'ombre d'un bâton.*"

De plus la réalisation d'une seule expérience et sa schématisation ne peuvent permettre ici d'identifier la hauteur du Soleil

comme l'angle entre le plan horizontal et la direction des rayons solaires. Le maître devra donc veiller à ce que cette expérience soit reproduite au même instant avec plusieurs objets de longueurs différentes. La confrontation des différents schémas permettra aux élèves d'identifier l'invariant : la taille des ombres dépend de la taille de l'objet, mais, au même moment, l'inclinaison des rayons est la même en tout point de la cour, cette inclinaison est "mesurée" par l'angle formé par le sol et les rayons solaires. C'est donc grâce à la confrontation de plusieurs schémas que les élèves pourront identifier ce qui caractérise la hauteur du soleil, à savoir un angle. Notons enfin que dans cette approche, l'angle sera repéré dans une figure géométrique.

elle nécessite la comparaison de plusieurs schémas

2.2. Méthode de la visée

La seconde méthode, que nous appellerons "méthode de la visée", consiste à viser le Soleil et à repérer directement l'écart angulaire entre le plan horizontal et la direction des rayons solaires. Pour opérer cette visée il est nécessaire d'élaborer avec les élèves un dispositif simple et non dangereux pour les yeux. Après la phase de conception d'un tel dispositif par les élèves, l'instrument décrit ci-dessous sera mis à leur disposition. Sur une planchette qui doit être maintenue verticalement dans le plan du Soleil, sont fixées à l'aide d'une attache parisienne les deux branches d'un faux compas (deux languettes de carton articulées). L'une d'elles est solidaire de la planchette et fixée horizontalement, l'autre peut pivoter et viser le Soleil : pour qu'on puisse la diriger correctement vers le Soleil, on colle sur cette branche une paille. Lorsqu'elle est alignée vers le Soleil, un mince pinceau de rayons solaires la traverse et forme une petite tache circulaire sur le sol (figure 3).

dans la méthode de la visée, l'angle est matérialisé

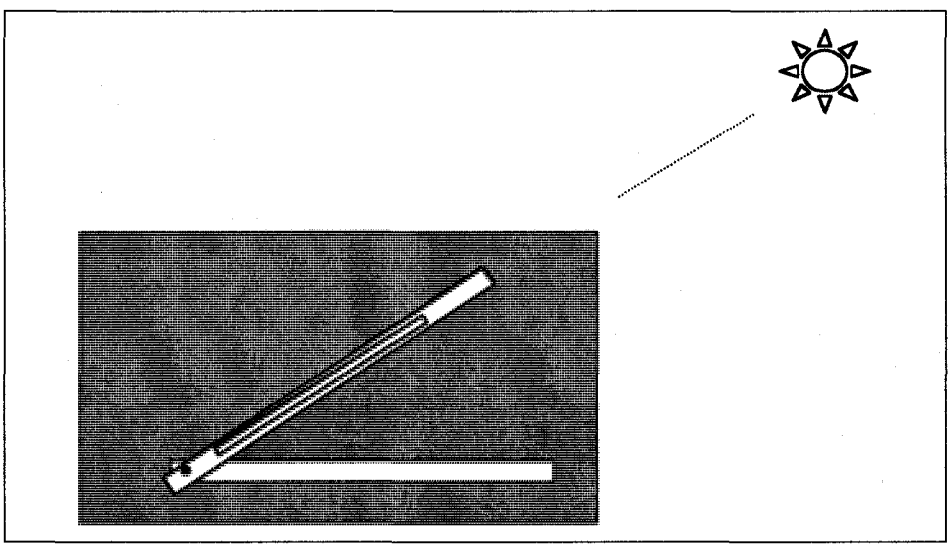


Figure 3.

Cette méthode paraît plus simple et plus pertinente : elle présente l'intérêt que l'angle soit matérialisé par l'écart entre les deux branches du faux compas ; le détour par plusieurs schématisations n'est pas nécessaire. L'idée d'angle apparaît donc de façon plus prégnante.

De plus le plan vertical contenant l'observateur et le Soleil est matérialisé par la planchette dans l'espace réel, ce qui n'est pas le cas avec la méthode de l'ombre.

Malgré ces avantages, il est peu probable que les élèves, qui ne maîtrisent pas ou peu le concept d'angle, aient recours spontanément à cette méthode.

Notons que pour chacune de ces deux méthodes les élèves devront ensuite vérifier que la hauteur du Soleil est la même en tout point de la cour, soit en se déplaçant avec leur instrument, soit en effectuant plusieurs mesures d'ombre à différents endroits de la cour. Ceci permettra de vérifier le parallélisme des rayons solaires.

Les différences entre les deux situations sont résumées dans le tableau ci-dessous :

	Méthode de l'ombre	**Méthode de la visée**
Plan vertical contenant l'observateur et le Soleil	Plan de schématisation sur la feuille, non matérialisé dans l'espace réel	Plan matérialisé dans l'espace réel par la planchette
Découverte de l'angle-hauteur	Invariant dans plusieurs schémas avec des objets de longueurs différentes puis avec un même objet en différents points de la cour	Invariant avec des instruments utilisés en différents points de la cour
Angle	Sous-figure d'une figure	Angle seul
Pré-requis	Parallélisme des rayons solaires, formation des ombres	/
Acquis méthodologiques	Schématisation	Conception d'un instrument de mesure

3. MÉTHODOLOGIE

Les séquences que nous nous proposons d'analyser ont été réalisées dans quatre classes de cours moyen deuxième année, dans des écoles de bon niveau scolaire. Les acquis des élèves concernant la notion d'angle étaient différents et il ne nous a pas été possible de savoir ce qui avait été fait exactement sur les angles au cours des années antérieures dans toutes les classes. Nous n'avons donc pas pu prendre en compte cette variable didactique.

Nous avons focalisé notre attention sur la comparaison de deux procédures et de leur efficacité.

quatre classes de cours moyen 2e année (10-11 ans)

Dans deux des classes, que nous nommerons A et B, après une séance d'introduction au cours de laquelle les élèves évoquent très sommairement les deux méthodes, trois séances sont consacrées à la méthode de l'ombre, puis deux à la méthode de la visée.

Dans les deux classes C et D au contraire, on impose dès la deuxième séance aux élèves d'utiliser une autre méthode que celle de l'ombre. Les élèves privilégient alors la méthode de la visée, à laquelle sont consacrées deux séances.

Toutes les séances, d'une durée moyenne d'une heure, ont été filmées pour permettre une analyse détaillée. Nous avons de plus analysé les travaux de recherche individuels et de groupes (schémas légendés pour la plupart), ainsi que les évaluations proposées aux élèves en cours et en fin d'apprentissage (tests écrits et entretiens individuels filmés).

4. COMPTE-RENDU ET ANALYSE DES SÉQUENCES

4.1. Premières propositions des élèves (1re séance)

Lorsqu'on présente le problème aux élèves, on leur fait évoquer la "course" du Soleil dans le ciel au cours d'une journée. L'échange permet de vérifier que ces élèves de fin de cycle 3 savent qu'entre son lever et son coucher, le Soleil monte dans le ciel depuis l'horizon est jusqu'au midi solaire avant de redescendre vers l'horizon ouest. S'ils sont familiers avec le fait que le Soleil est "plus ou moins haut" dans le ciel, ils ne se sont jamais interrogés sur ce que pouvait être la "hauteur" du Soleil, ni sur la façon de mesurer cette hauteur.

comment repérer la hauteur du Soleil ?

Les élèves doivent répondre, individuellement ou par groupe, à la consigne suivante : "trouvez une méthode permettant de repérer la hauteur du Soleil à un moment donné de la journée". Ils sont ensuite invités à aller dans la cour par petits groupes, avec les objets de leur choix, pour mettre en œuvre et affiner leur méthode. Après ce travail, les élèves rédigent des affiches.

Nous avons trouvé dans toutes les classes des propositions de même type qui se regroupent en cinq catégories :

a) Description

Certains groupes se contentent de décrire le mouvement apparent du Soleil, souvent en s'aidant d'un schéma (figure 4). L'affirmation de la variation de hauteur semble suffire à définir la grandeur en cause comme à trouver une méthode de mesure.

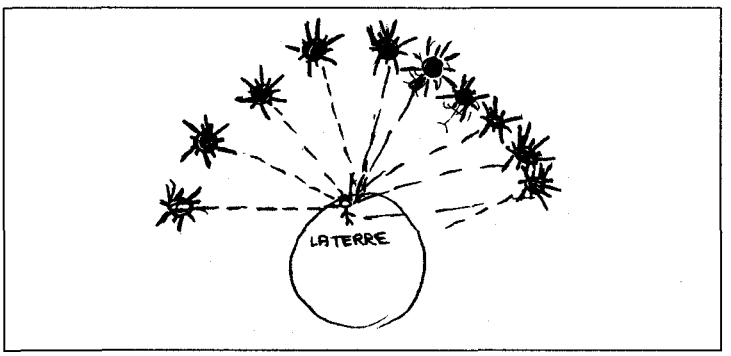


Figure 4.

b) Technique de la règle

certains se limitent à une description, d'autres cherchent à utiliser une règle

Quelques-uns utilisent la "technique de la règle" : il s'agit pour eux de tenir une règle à bout de bras vers le Soleil et de mesurer la distance entre l'horizon et le Soleil (figure 5a). Cette distance s'exprime donc en cm.

Les propositions sont souvent très maladroites, le bras tenant la règle étant plus ou moins horizontal, le "zéro" de la règle coïncidant selon les cas avec la cime d'un arbre (figure 5b), le toit d'un immeuble ou le sol de la cour.

Souvent les élèves se demandent ensuite par quel nombre il faut multiplier le résultat en cm qu'ils obtiennent et suggèrent des conversions : "*nous ne savions pas combien 1 cm valait en km*", "*À l'horizontal vers le haut on trouve trois crayons environ du Soleil jusqu'au sol. Pour trouver la hauteur exacte entre le Soleil et la Terre, il faudrait multiplier le nombre égal à trois crayons par un nombre inconnu (figure 5a)*". Ce souci d'obtenir des grands nombres peut manifester la confusion distance-hauteur : la distance du Soleil étant considérée comme très grande par les enfants ils ne peuvent se satisfaire d'une évaluation exprimée en cm. De plus, ils sont conscients qu'en astronomie, les "ordres de grandeurs" sont largement supérieurs à ceux de la vie courante.

c) Rotation de l'ombre

Pour d'autres, c'est l'ombre d'un bâton sur le sol qui est utilisée, l'attention des élèves se portant non seulement sur la longueur de l'ombre mais aussi et surtout sur sa direction.

beaucoup d'élèves utilisent l'ombre,

Ainsi certains élèves s'intéressent uniquement à la rotation de l'ombre et la méthode proposée est incorrecte : les élèves évoquent la direction de l'ombre à l'opposé du Soleil, ses changements de direction au cours de la journée ou dessinent un cadran solaire. Mais ils ne font pas, du moins explicitement, la relation entre la hauteur du Soleil et la longueur de l'ombre. Nous nommerons cette proposition : "méthode de l'ombre-direction" (figures 6a et 6b). Si l'idée de mesurer un angle apparaît, il ne s'agit pas du bon angle.

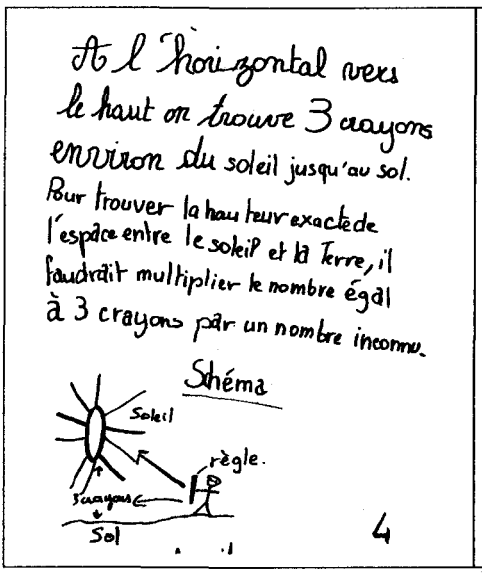


Figure 5a.

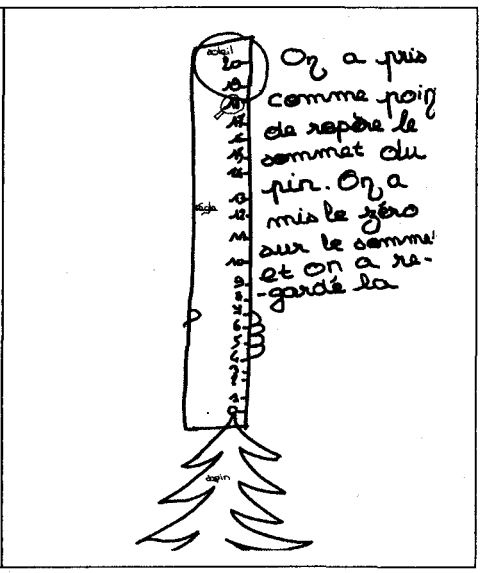


Figure 5b.

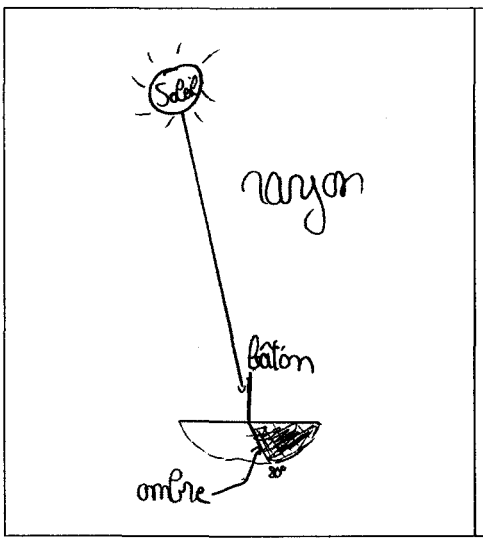


Figure 6a.

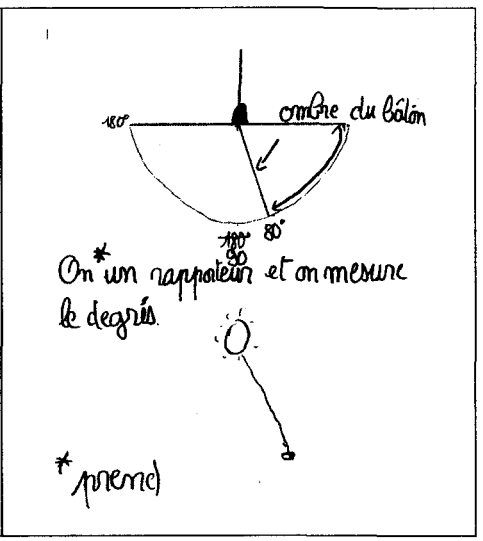


Figure 6b.

d) Longueur de l'ombre

Au contraire, pour d'autres élèves, l'ombre est utilisée à bon escient : ils établissent explicitement une relation entre la longueur de l'ombre et la hauteur du Soleil (Soleil haut-ombre courte, Soleil bas-ombre longue) : ce type de proposition sera noté "méthode de l'ombre correcte".

Pour un élève, la longueur de l'ombre doit d'ailleurs être multipliée par un million (figure 7). Comme dans le cas de la méthode de la règle, un résultat exprimé en cm ne peut rendre compte de la hauteur du Soleil, forcément considérable dans l'esprit des élèves.

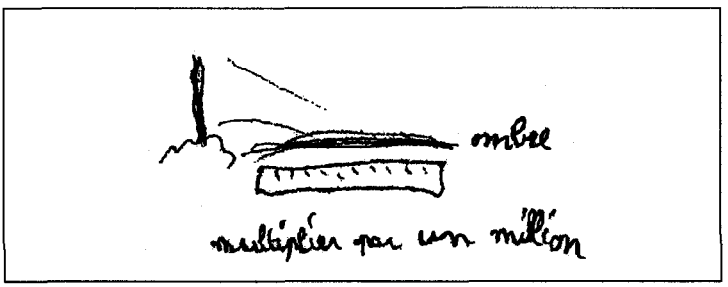


Figure 7.

e) Visée

Quelques élèves proposent de "viser" le Soleil avec des procédés divers, utilisant "la vue" ou un objet : un zoom (figure 8a) ou un télescope (figure 8b), mais qui doit être muni d'un "compteur de distance".

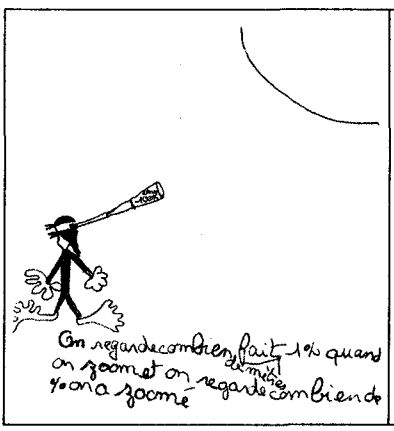


Figure 8a.

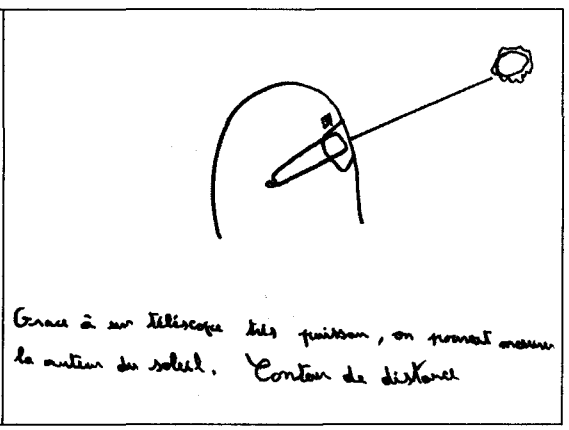


Figure 8b.

...quelques-uns s'appuient sur la visée

Plusieurs élèves disposent dans la cour d'un stylo ou d'un bâton destiné au départ à permettre l'obtention d'une ombre. Ils obtiennent, en inclinant ce stylo, une ombre qui varie et disparaît lorsqu'ils le pointent vers le Soleil. Cette observation les incite alors souvent à tenter de "viser le Soleil".

D'autres élèves regardent dans la direction du Soleil, puis tendent leur bras vers lui, le plus souvent pour s'en protéger : c'est une autre façon d'aborder cette méthode de visée.

forte propension à s'orienter vers une mesure de longueur

On constate donc au départ, dans toutes les classes, une grande difficulté à dépasser le simple constat visuel et une forte propension à s'orienter vers une mesure de longueur (longueur repérée sur la règle ou longueur de l'ombre). Très souvent, les longueurs mesurées étant faibles, qu'ils s'agisse de la longueur de l'ombre ou de celle obtenue avec la méthode de la règle, les élèves envisagent une multiplication par un grand nombre : ceci traduit le souci d'obtenir une longueur importante, que ce soit le signe d'une confusion entre hauteur et distance ou de la nécessité d'obtenir de grands nombres en astronomie.

Lors de la manipulation, spontanément, les élèves ont tendance à s'orienter vers des méthodes utilisant l'ombre. Seules les incitations du maître, qui les pousse à trouver d'autres pistes, permettent à certains d'entre eux d'imaginer des solutions différentes.

Dans le tableau suivant nous avons synthétisé les résultats obtenus dans les différentes classes, certains groupes proposant deux méthodes. Ce travail n'a pas la prétention de donner des informations statistiques, étant donné le faible nombre de classes concernées.

	Classe A Travail individuel	Classe A Travail de groupe	Classe B Travail de groupe	Classe C Travail de groupe	Classe D Travail de groupe
Description de la course du Soleil	12	3	3	2	2
Méthode de l'ombre-direction	2	5	1	2	1
Méthode de l'ombre correcte	2	0	5	2	0
Méthode de la règle	6	4	0	0	2
Visée	2	0	3	0	2

le recours à l'ombre est le plus spontané, la visée apparaît peu

On constate des différences entre les classes, mais quelques constantes :

- la méthode de l'ombre est toujours utilisée, mais à plus ou moins bon escient, vraisemblablement du fait d'activités antérieures ;
- la méthode de la règle est très utilisée dans la classe A, mais peu ailleurs sans doute parce que les idées ont tendance à se propager de groupe en groupe au sein d'une classe ;
- la technique de visée, quant à elle, n'apparaît pas de façon systématique et dans des proportions assez faibles ; elle résulte souvent d'une incitation du maître à trouver plusieurs méthodes.

Sur certains schémas enfin apparaît la manifestation explicite d'une confusion entre hauteur et distance (figures 9). Sur la figure 9a l'élève reproduit la trajectoire du Soleil autour de la Terre et c'est manifestement la distance Terre-Soleil qu'il mobilise, or cette distance apparaît constante sur son

la confusion hauteur-distance est parfois explicite

schéma. Dans d'autres figures, l'horizon est dessiné et sert de repère. Mais contrairement à ce qui apparaît dans la méthode de la règle où on retrouve la difficulté évoquée par Rolando, ici la hauteur du Soleil est mesurée par rapport à la position de l'observateur et non par rapport à l'horizon. Dans la figure 9b cette distance est à peu près constante alors que dans la figure 9c elle varie notablement au cours de la journée.

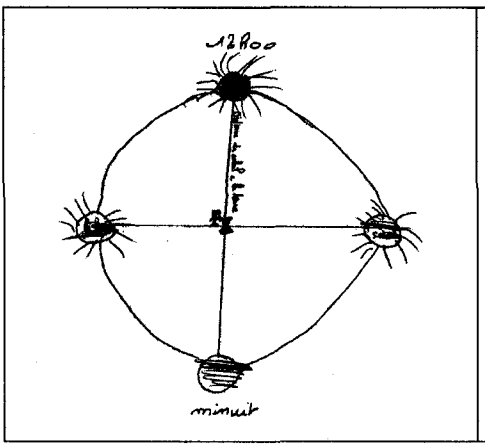


Figure 9a.

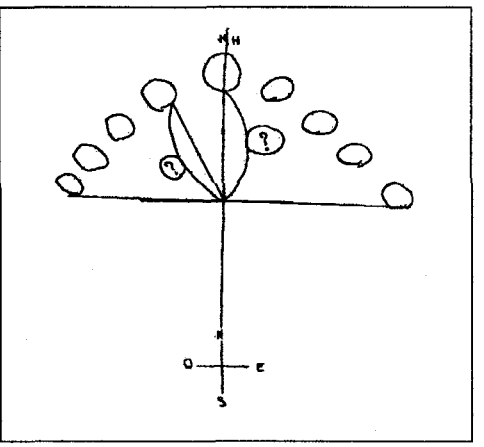


Figure 9b.

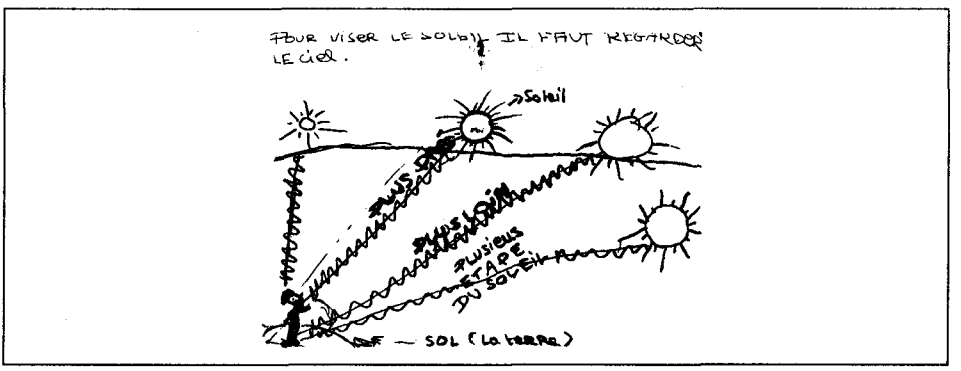


Figure 9c.

4.2. La méthode de l'ombre

Dans les classes A et B, après la première séance introductive, les élèves utilisent la méthode de l'ombre. Dans cette approche, ils relèvent l'ombre d'une vis sur une planchette posée horizontalement sur le sol. Cette manipulation étant reproduite au moins deux fois dans la journée, la relation fonctionnelle entre la hauteur du Soleil et la longueur de l'ombre est rapidement établie par les élèves si elle ne l'était pas au préalable.

Le maître demande ensuite aux élèves de réaliser un schéma de l'expérience sur lequel doivent apparaître l'ombre et la vis, sans donner plus de précision.

• *Travail sur la schématisation*

Nous présenterons de manière détaillée les résultats de la classe A, les réactions étant très voisines dans la classe B.

L'analyse collective des divers schémas individuels permet de montrer qu'une vue "de dessus" (figure 10a) est mal adaptée puisqu'elle ne permet pas de rendre compte de la longueur de la vis.

la schématisation de l'ombre de profil et correcte n'est pas spontanée

Concernant les schématisations de profil, les élèves critiquent l'absence du Soleil (figure 10b) ou sa position du même côté que l'ombre (figure 10c).

Sur la figure 10d les élèves jugent au départ intéressant le tracé des rayons : *"on voit bien les rayons, ils ne traversent pas la vis, ils passent autour"*, mais la discussion se poursuit et fait apparaître des désaccords :
"Il a prolongé les traits mais ils peuvent pas si c'est derrière"
"Si les rayons s'arrêtaient pas il y aurait pas d'ombre", et en montrant les rayons qui apparaissent derrière la vis :
"Ils sortent d'où, c'est qui qui les fait ?"
"Ça se peut pas, il y a pas de rayons derrière la vis, elle cache les rayons"

Après cet échange, l'accord se fait sur un point : il y a une ombre car les rayons du Soleil ne peuvent pas traverser la vis, le schéma 10d est donc éliminé. Les dessins représentés sur les figures 10e et 10f font ensuite l'objet d'une nouvelle discussion : le tracé du rayon passant par l'extrémité de la vis et l'extrémité de l'ombre remporte l'adhésion d'une majorité des élèves mais certains ne sont pas convaincus. De plus une question se pose : faut-il placer le Soleil sur ce rayon, contrairement à ce qui est fait sur le schéma de la figure 10e ?

mais elle est validée par l'expérience

Les élèves proposent de réaliser une expérience avec une lampe : tendre une ficelle entre la lampe, l'extrémité de la vis et celle de l'ombre. Ils vérifient ainsi l'alignement qu'ils avaient pressenti.

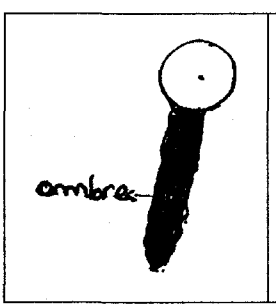


Figure 10a.

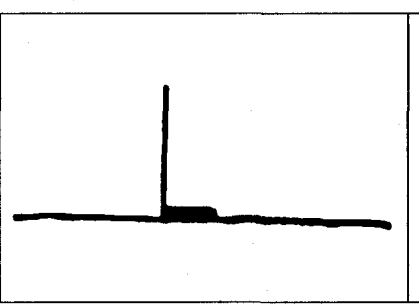


Figure 10b.

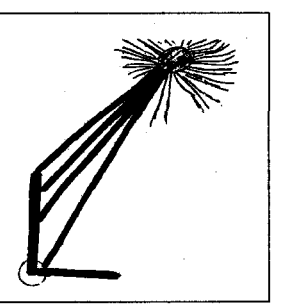


Figure 10c.

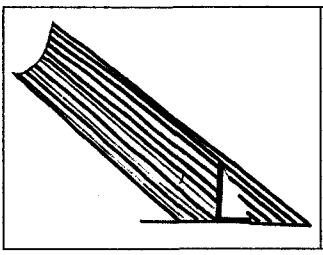


Figure 10d.

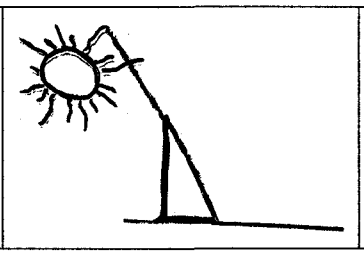


Figure 10e.

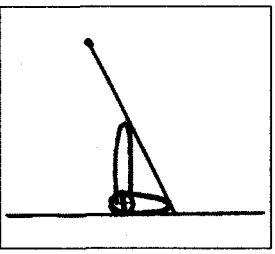


Figure 10f.

La séance de schématisation et l'expérimentation avec une lampe permettent donc de déboucher sur le schéma de profil nécessaire à l'identification de la hauteur du Soleil.

Signalons toutefois que cette schématisation n'est pas spontanée pour les élèves, mais nécessite un long débat dans la classe et une vérification expérimentale de l'alignement source, extrémité de la vis, extrémité de l'ombre.

• *Identification de la hauteur du Soleil dans les classes A et B*

Les élèves ont souligné dès la première séance que des vis de tailles différentes donnent des ombres de tailles différentes, ce qui leur pose problème : la hauteur du Soleil étant la même à un instant donné, ils cherchent un moyen d'obtenir le même résultat malgré des objets de tailles différentes. Un groupe propose, pour résoudre ce problème, de soustraire la taille de l'objet de la taille de l'ombre, en soulignant que sa méthode lui paraît bonne parce que "*si l'objet est plus grand l'ombre est plus grande mais on soustrait plus*". Les élèves sont conscients que la mesure de la longueur de l'ombre est en relation avec la hauteur du Soleil mais ne donne pas directement cette hauteur. Le problème de la détermination de la hauteur reste donc posé.

des vis de tailles différentes donnent des ombres de tailles différentes

Après s'être mis d'accord sur la schématisation de l'ombre adaptée à la situation (représentation de profil, en faisant figurer un rayon de Soleil passant par les extrémités de la vis et de l'ombre), les élèves ont ensuite pour consigne d'effectuer, par groupes, quatre relevés en un même endroit de la cour, avec des vis de tailles différentes. Ils doivent ensuite schématiser ces expériences. L'analyse des schémas doit permettre d'éliminer la méthode de soustraction et de dégager un invariant.

nécessité de dégager un invariant

Dans la classe A, dans laquelle une réflexion individuelle est demandée avant une mise en commun, nous avons analysé quantitativement les réponses individuelles.

On demande dans un premier temps aux élèves ce qu'ils remarquent sur leurs dessins (question 1), puis au dos de la feuille on précise la question : "qu'est ce qui change et qu'est ce qui reste pareil dans ces quatre dessins" (question 2).

Nous avons classé ces réponses en plusieurs catégories :

a) Remarques pertinentes où l'"idée d'angle" est sous-jacente : "*c'est tous des agrandissements du même triangle, les rayons sont toujours orientés pareil par rapport au bâton, les angles sont pareils, le rayon reste à la même place...*"

b) Remarques liées aux dessins mais non pertinentes : "*il y a à chaque fois une vis, une ombre et le soleil, l'ombre et la vis sont perpendiculaires, l'ombre et la vis sont de plus en plus grands, le rayon de Soleil passe par le bout de la vis et le bout du bâton...*"

c) Remarques pertinentes mais non liées aux dessins : "*plus le Soleil est haut plus l'ombre est courte...*"

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant (26 élèves) :

	a	b	c	Autre (pas de réponse ou remarque fausse)
Question 1	6	9	5	6
Question 2	5	13	0	8

On constate que peu d'élèves remarquent l'égalité des angles, résultat conforme à l'analyse *a priori*. L'angle comme sous-figure du schéma réalisé n'est pas identifié par les élèves et la découverte de l'invariance de cet angle est difficile pour la majorité d'entre eux.

difficulté à identifier l'angle comme invariant

En revanche, dès que l'idée est évoquée par quelques-uns lors de la mise en commun, tous ont l'impression que l'hypothèse est bonne et une activité de vérification est entreprise en utilisant du papier calque, en construisant un gabarit ou en superposant les schémas par transparence. Ces diverses techniques découvertes précédemment en géométrie sont spontanément utilisées par les élèves et valident l'hypothèse.

La question se pose ensuite de savoir si l'angle serait le même en tout point de la cour, ce qui entraîne une discussion entre les élèves et une vérification expérimentale.

Dans la classe B on observe le même type de réactions. Dès le départ un élève remarque : "*on fait nos relevés d'ombre à la même heure et au même endroit, donc la hauteur elle a pas changé*". Le maître les fait donc réfléchir directement à ce qu'il y a de commun dans leurs dessins.

Là aussi les enfants ont des difficultés à identifier l'invariant, ils font beaucoup de remarques non pertinentes : "*si les vis n'ont pas la même taille les ombres non plus, on a des triangles rectangles qui sont différents*", mais des remarques plus pertinentes émergent aussi : "*le Soleil est au même endroit*". Un groupe explique qu'il a découpé les schémas et qu'on peut les superposer, et c'est à partir de cette observation qu'émerge pour tous les élèves l'idée que c'est l'angle qui est commun, angle entre le sol et le rayon du Soleil. Comme dans l'autre classe, cette hypothèse est validée par diverses techniques de comparaison des angles.

4.3. La méthode de la visée

rechercher une autre méthode...

Dans les classes A et B, cette méthode est abordée après le travail sur l'ombre, alors que, dans les deux autres classes (C et D), elle est utilisée dès la seconde séance. Dans les deux cas, les maîtres demandent aux élèves d'utiliser une méthode autre que la méthode de l'ombre et d'inventer un instrument permettant de connaître directement la hauteur du Soleil.

Nous avons retrouvé dans les quatre classes des propositions relevant des mêmes tendances, avec quelques spécificités liées à l'histoire de chacune d'elles.

...propositions utilisant la visée

Quelques rares propositions s'éloignent encore de la technique de visée. Un élève propose de placer un verre d'eau au Soleil et de relever la température au bout d'un temps défini : l'augmentation de température est liée, pour lui, à la hauteur du Soleil ; pour cet élève, plus la température augmente, plus le Soleil est bas, signe manifeste d'une confusion entre "bas" et "près". Un autre groupe propose l'utilisation d'une loupe, tout en admettant ensuite que ceci ne renseignera pas sur la hauteur du Soleil. Ce sont donc les connaissances empiriques des élèves sur le Soleil, liées à son effet le mieux connu, l'échauffement, qui sont alors mobilisées.

...qui tendent à concevoir un instrument de mesure

Dans les classes A et D la méthode "de la règle" est abandonnée, la nécessité de multiplier le résultat par un nombre inconnu étant admise par les élèves qui ne trouvent pas de solution à ce problème. On obtient donc presque exclusivement des propositions dans lesquelles il est question, plus ou moins explicitement, de "viser" le Soleil, et toutes ces propositions tendent à concevoir un instrument de mesure.

• *Conception de l'instrument*

Les propositions sont similaires quelles que soient les classes (A et B ou C et D).

Les maîtres insistent, avant le début de la phase de conception, sur les dangers du Soleil lorsqu'on l'observe fixement. Il est donc nécessaire de ne pas viser le Soleil avec les yeux.

Selon les groupes, la visée se fait grâce à différents moyens : un entonnoir censé concentrer les rayons du Soleil (figure 11a), mais le plus souvent il s'agit de pointer une règle, un bâton ou un stylo vers le Soleil (figures 11b et 11c).

différents moyens de visée

Comment savoir que cet objet est bien pointé vers le Soleil ? Ce problème n'est pas toujours résolu. Parfois cet objet est doté d'un *"panneau solaire"* qui *"enregistre la position du Soleil et déplace la règle"* (figure 12a) ou d'un *"capteur solaire puissant"* chargé de suivre le Soleil dans son déplacement (figure 12b). Une autre proposition de même inspiration : *"imaginons que le Soleil soit un aimant et que la flèche soit une aiguille en fer. Ils s'attireraient entre eux et l'aiguille qui est la flèche se déplacerait jusqu'à s'arrêter à l'endroit précis".*

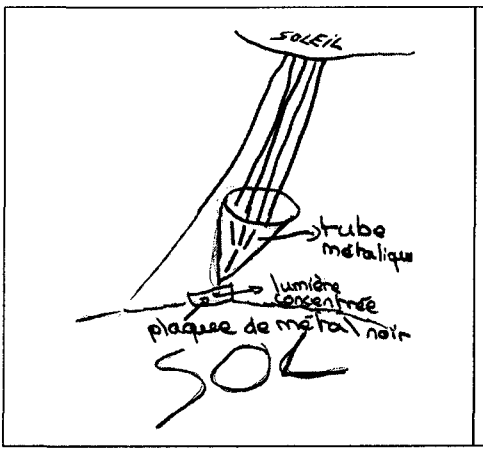


Figure 11a.

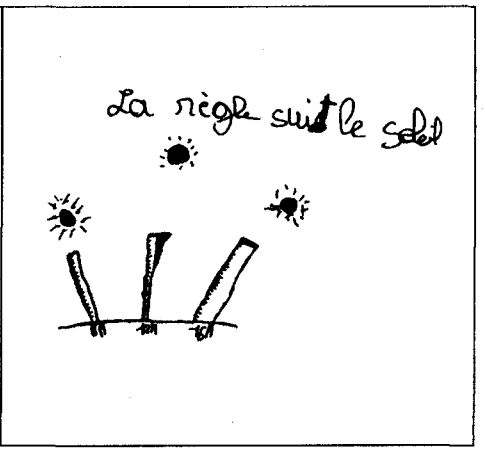


Figure 11b.

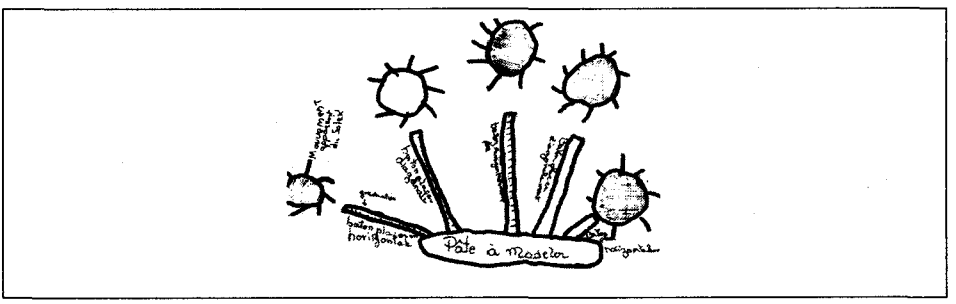


Figure 11c.

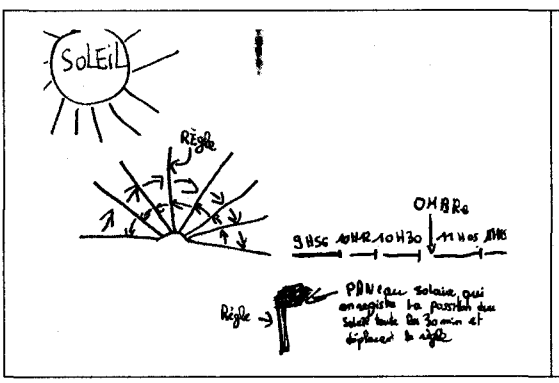


Figure 12a.

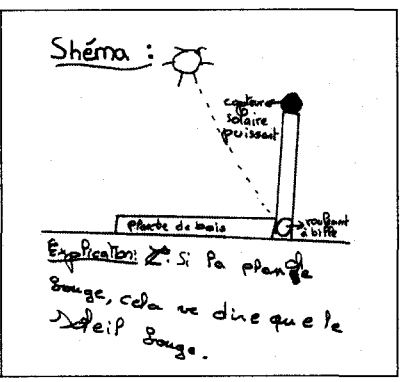


Figure 12b.

Le plus souvent, cette visée est approximative : *"on vise le Soleil avec la règle", "on met la flèche vers le Soleil" (figures 11b, 11c)*, mais quelques groupes découvrent que la règle est bien placée lorsque son ombre est minimale (figure 13).

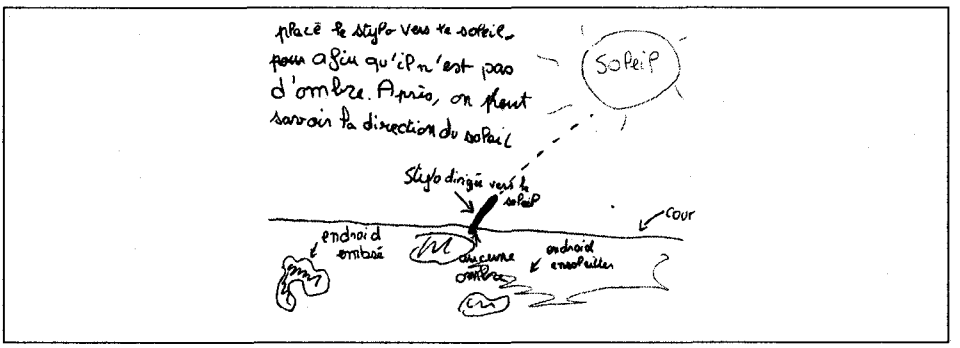


Figure 13.

souci de mesurer un écart angulaire

Le souci de mesurer un écart angulaire est explicite dans les classes A et B pour les élèves qui ont assimilé, après avoir utilisé la méthode de l'ombre, que la hauteur du Soleil est un angle alors que ce souci est encore implicite dans les classes C et D. Dans les deux cas il se traduit par l'utilisation de divers instruments : un compas dont une branche est sur le sol et l'autre pointée vers le Soleil (figure 14), une planchette sur laquelle s'articule une règle à l'aide d'*"un roulement à billes"* (figure 12b). Dans tous ces dispositifs la nécessité de permettre une rotation est le plus souvent explicitée sur le schéma. Quand ce n'est pas le cas, comme dans une classe où la visée se fait souvent par une règle *"qui suit le Soleil"*, l'idée d'articulation est proposée oralement.

nécessité de permettre une rotation

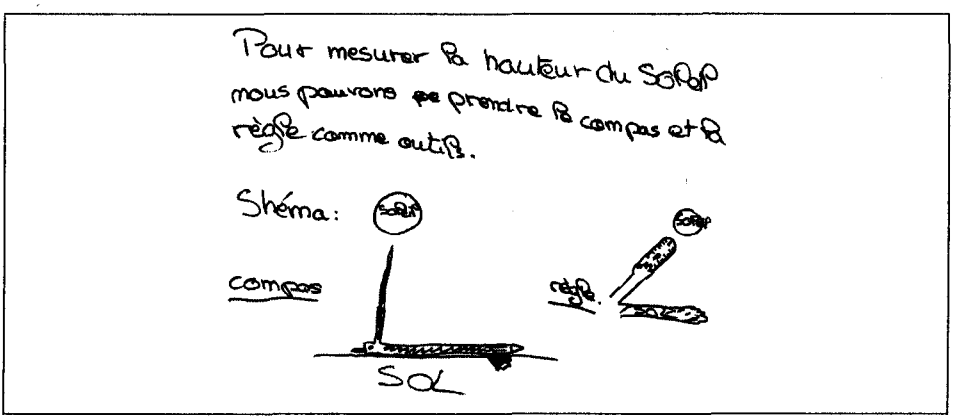


Figure 14.

importance du plan horizontal

L'importance du plan horizontal apparaît nettement dans les propositions de toutes les classes, que le sol soit représenté *(figures 11a, 14, 15d)* ou que son importance soit clairement explicitée.

Enfin le recours au rapporteur et la référence aux "degrés" sont fréquents alors que la mesure des angles n'est pas au

recours occasionnel au rapporteur

programme de l'école primaire et qu'elle n'a donc été introduite en mathématiques dans aucune des quatre classes (cependant tous les élèves ont utilisé la boussole graduée en degrés). Cette utilisation est parfois pertinente : le rapporteur est correctement dessiné, dans le plan du Soleil. La visée est parfois implicite (figure 15a), mais souvent la technique de visée est précisée (figure 15b). Certains dispositifs sont originaux (figure 15c) et l'explication est même parfois complète : *"on vise le Soleil avec la règle et on mesure le degré de l'angle entre le sol et la règle"* (figure 15d).

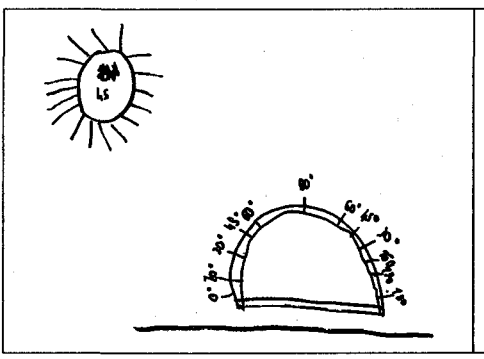


Figure 15a.

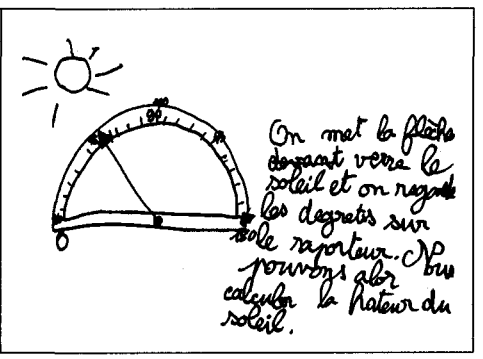


Figure 15b.

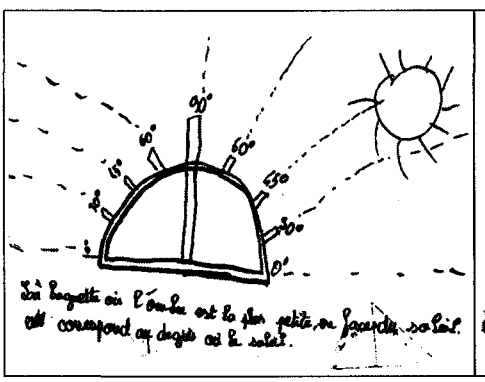


Figure 15c.

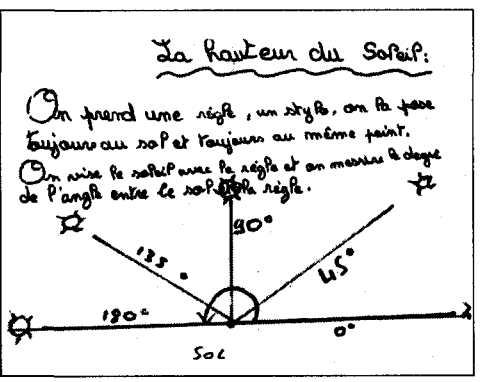


Figure 15d.

Certains élèves utilisent donc correctement le rapporteur : *"on fait des pointillés par rapport au centre du Soleil et au centre du rapporteur et on mesure les degrés"* (figure 16a). Parfois au contraire cette utilisation n'est pas correcte (figure 16b).

Ainsi, dans la classe A, le recours au rapporteur par un groupe, imité par les autres qui n'en avaient pas compris l'utilisation, a induit des erreurs. Ce rapporteur était tenu comme indiqué figure 17 et cette erreur a perduré chez certains élèves comme le montrent les entretiens terminaux.

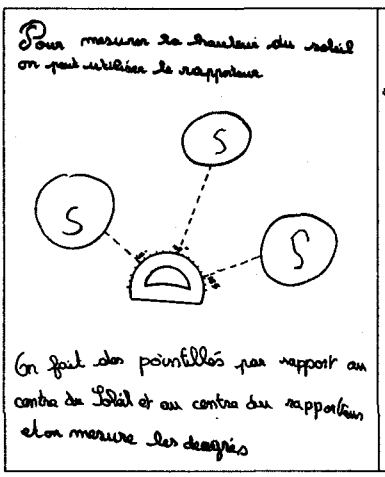


Figure 16a.

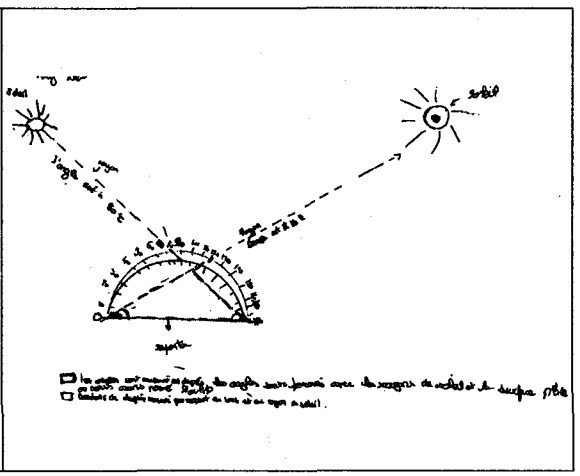


Figure 16b.

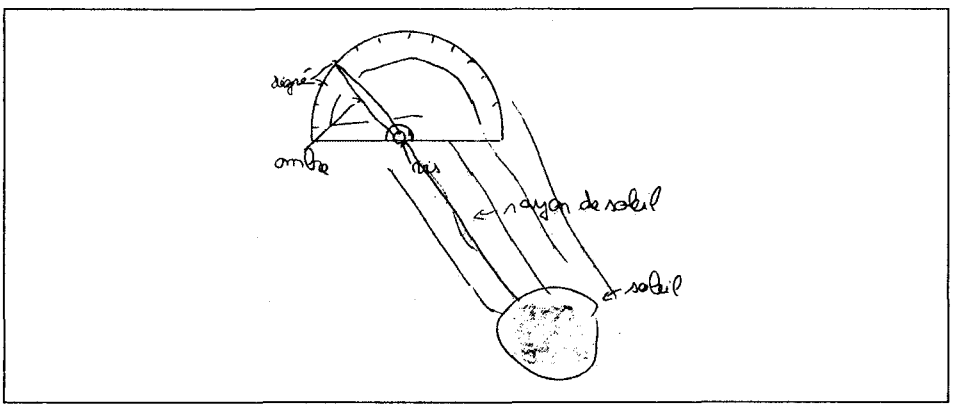


Figure 17.

tous les éléments nécessaires à la conception de l'instrument sont présents sur l'ensemble des propositions

On constate donc, dans toutes les classes, que les élèves parviennent à proposer des solutions pertinentes. Aucune d'entre elles n'est complète, mais dans chaque classe, tous les éléments nécessaires à la conception d'un instrument performant sont présents sur l'ensemble des propositions : nécessité de matérialisation du sol, d'une branche articulée permettant de viser le Soleil, et éventuellement d'un moyen de "canaliser" la lumière du Soleil.

Lorsqu'on présente ensuite aux élèves l'instrument que nous avons élaboré, ils reconnaissent sans difficulté le résultat de leur recherche : "*Ah oui, ce qui remplace la règle ou le stylo c'est la paille. Le rayon du Soleil rentrera pile dans la paille quand ce sera aligné ça va ressortir il va y avoir de la lumière. L'articulation c'est le petit truc doré là* [attache parisienne]".

• *Identification de la hauteur du Soleil dans les classes C et D*

Après la phase de conception de l'instrument et la présentation de celui que nous avons construit, les élèves vont l'utiliser dans la cour et ils sont donc amenés à expliciter son mode d'emploi. Celui-ci s'établit très facilement : la plaquette doit être tenue verticalement dans la direction du Soleil, pour cela il faut que son ombre soit la plus petite possible, et la paille doit "viser" le Soleil *"pour avoir un petit rond de lumière sur le sol"*.

élaboration d'un mode d'emploi et utilisation de l'instrument

Avant la manipulation, les maîtres demandent aux élèves ce qu'ils vont noter une fois que l'instrument sera réglé. La nécessité de noter la direction du Soleil apparaît très vite : *"on va dessiner le contour de la baguette"*, *"on peut marquer la direction du Soleil sur le truc blanc (la planchette)"*, puis l'importance du sol est soulignée : *"il faut mettre le sol pour la direction horizontale"*.

Immédiatement, bien que ce n'ait pas été abordé au cours des séances précédentes dans les classes C et D, les élèves expriment très clairement qu'ils vont dessiner et mesurer un angle : *on va mesurer des degrés d'inclinaison, on va mesurer un angle, l'angle entre la paille et le sol, donc entre la direction du Soleil et l'horizontale"*.

On leur demande alors si c'est une distance et là encore la réponse collective est tout de suite très nette : *"non c'est une direction, une inclinaison"*. Une discussion suit sur le fait qu'on aurait dû mettre des graduations sur l'instrument et sur la nécessité de graduer de 0 à 180° ou de 0 à 90°.

La manipulation de l'instrument ne pose ensuite aucun problème pour la majorité d'entre eux, hormis quelques difficultés liées à une certaine maladresse.

en concevant l'instrument, les élèves élaborent le concept de hauteur angulaire

Les élèves ont donc été amenés à concevoir un instrument permettant de repérer la hauteur du Soleil en utilisant la "technique de la visée". La mise en commun de leurs propositions, qui permet de dégager tous les éléments essentiels de l'instrument, nous paraît fondamentale. En effet c'est lors de cette phase que l'architecture globale de l'instrument se met en place. Dès la phase de conception, l'instrument en gestation devient pour eux un objet qui les aide à penser la situation dans l'espace réel.

On voit alors en particulier, se dégager, le souci de repérer un *écart angulaire* bien que ce point ne soit jamais formulé dans les classes C et D, et fort peu dans les classes A et B. Les élèves ne se posent plus explicitement la question de la "nature" de la hauteur du Soleil car l'aspect instrumental devient prioritaire. Malgré cela, même si l'idée de mesurer un angle reste implicite, en particulier pour les deux classes C et D, c'est bien ce concept qui est en train de s'enraciner dans l'esprit des élèves. Cela apparaît très nettement lorsqu'on leur demande ce qu'ils vont mesurer à l'aide de

leur instrument : l'idée qu'il s'agit d'un angle apparaît très naturellement dans toutes les classes alors que cette idée était totalement absente dans les classes C et D avant la phase de conception de l'instrument. C'est donc bien au cours de cette phase que s'élabore pour ces élèves le concept de hauteur angulaire.

La phase de manipulation, elle aussi, est essentielle, qu'il s'agisse de manipulations préliminaires au cours de la conception, ou de la manipulation finale de l'instrument. Elle aide les élèves, qui manipulent règles, baguettes ou planchettes dans la cour, à isoler matériellement les plans et directions utiles pour résoudre la tâche demandée et donc à progresser dans la structuration de l'espace.

5. ÉVALUATIONS

Pour des raisons matérielles, les évaluations n'ont pas pu être réalisées dans la classe D. Dans les autres classes les évaluations ont comporté des questions à choix multiples (QCM) et des entretiens individuels.

5.1. QCM individuels

suivi de l'évolution conceptuelle des élèves

En cours et en fin d'étude, nous avons suivi l'évolution conceptuelle des élèves quant à la hauteur du Soleil. Pour cela un QCM leur est proposé, dans lequel ils doivent dire si diverses formulations sont vraies ou fausses. Certaines (1, 4 et 5) sont fausses et permettent de savoir si les élèves confondent encore la hauteur du Soleil avec sa distance, par rapport à l'horizon ou à la Terre. Les autres (2, 3 et 6) proposent une "définition" correcte de la hauteur du Soleil, le rangement souhaité, de la réponse la plus précise à la moins précise étant : 3 – 2 – 6.

1- Entoure vrai ou faux : La hauteur du Soleil

1 – c'est la distance entre la Terre et le Soleil	V	F
2 – c'est un angle	V	F
3 – c'est l'angle entre l'horizontale et la direction des rayons du Soleil	V	F
4 – c'est une longueur	V	F
5 – s'exprime en kilomètres	V	F
6 – c'est un écartement	V	F

2 – Pour les réponses où tu as coché "vrai", range-les de l'explication la meilleure (la plus complète, la plus précise, la plus juste), à l'explication la moins bonne.
Pour cela utilise les numéros placés devant chaque proposition.

l'explication la meilleure ——————————→ l'explication la moins bonne

des performances différentes selon les méthodes utilisées

Dans les classes A et B, ce questionnaire a été donné après utilisation de la méthode de l'ombre, puis en fin de travail, c'est-à-dire après avoir utilisé la méthode de visée. Dans la classe C il a été donné une seule fois aux élèves, après le travail utilisant la méthode de la visée. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

	Classe A Après l'ombre (23 élèves)	Classe A À la fin (23 élèves)	Classe B Après l'ombre (21 élèves)	Classe B À la fin (20 élèves)	Classe C (24 élèves)
3 erreurs ou plus	6	0	6	0	2
1 ou 2 erreurs	7	5	10	6	7
0 erreur	10	18	5	14	15
0 erreur et classement correct*	10	17	5	8	13

*Remarque : la grande majorité des élèves qui ne font aucune erreur au QCM rangent correctement les propositions relatives à la définition de la hauteur du Soleil, ce qui confirme une bonne assimilation de cette notion par ces élèves.

méthode de l'ombre insuffisante à elle seule

On note tout d'abord une très nette évolution dans les classes A et B entre les deux évaluations. Le travail sur la visée permet un progrès très important chez les élèves. Après le seul travail sur l'ombre, la nature même de la hauteur du Soleil n'est pas du tout acquise par un quart des élèves environ et moins de la moitié d'entre eux ne font aucune erreur. Cela montre que le travail sur l'ombre n'est pas suffisant pour que tous arrivent à concevoir que la hauteur du Soleil est l'angle entre le sol et la direction du Soleil. À la fin du travail, par contre, environ les trois quarts des élèves répondent parfaitement et aucun d'entre eux ne fait plus de deux erreurs.

Chez les élèves qui n'ont utilisé que la méthode de la visée (classe C), on constate des résultats supérieurs à ceux obtenus dans les classes A et B après utilisation de la seule méthode de l'ombre. Les résultats de la classe C sont pratiquement du même ordre que ceux obtenus dans les classes A et B après utilisation successive des deux méthodes, ombre et visée.

5.2. Entretiens semi-directifs

Nous avons ensuite réalisé des entretiens semi-directifs avec les élèves des classes A, B et C, suivant le protocole décrit ci-dessous :

Peux-tu m'expliquer ce que c'est que la hauteur du Soleil ? Comment peut-on la repérer ?

Si la réponse est correcte : *Montre-moi cet angle avec tes bras* (un Soleil a été dessiné sur un tableau)

Est-ce que tu penses que c'est la même chose que la distance du Soleil ? Pourquoi ? Quelles sont les unités de la hauteur et de la distance du soleil ?

On leur donne ensuite l'instrument : *Peux-tu me montrer comment on s'en sert ?*

On leur donne ensuite un faux compas simple (deux languettes de carton articulées) et un globe terrestre ; un Soleil est toujours dessiné sur le tableau : *Montre-moi maintenant la hauteur du Soleil pour un enfant en France avec le faux compas. Et si tu vas au Nigeria, est-ce que c'est la même ? Dans ces deux pays où doit-on regarder dans le ciel pour trouver le Soleil, en haut ou près de l'horizon ?*

Pour cette question le globe a été positionné de façon à ce que "le sol" en France soit quasiment horizontal dans l'espace local (parallèle au sol de la classe). Le Nigéria a été choisi car ce pays est situé à peu près sur le même méridien que la France.

vérification des acquis

Les objectifs de ces entretiens sont multiples. Dans un premier temps ils doivent permettre de vérifier les résultats obtenus avec les QCM, de contrôler l'état des connaissances des élèves sur la définition de la hauteur du soleil et de vérifier s'ils différencient bien hauteur et distance. Il s'agit ensuite, lors de la dernière question avec manipulation du globe, de voir s'ils sont capables de passer de l'espace local à l'espace astronomique et de sélectionner le plan vertical contenant l'observateur et le Soleil, plan qui n'est plus matérialisé par la plaquette. Or on sait qu'il s'agit d'une difficulté importante pour les élèves de cet âge.

différenciation hauteur/distance

espace astronomique

62 entretiens ont été réalisés, filmés puis analysés. Pour chacun nous avons évalué :
- la *définition* de la hauteur du Soleil donnée
- la *différenciation* hauteur-distance
- la manipulation de l'*instrument* dans l'espace local
- la manipulation du faux compas avec le *globe* terrestre

Les nombres et pourcentages de réponses correctes à ces quatre questions sont reportés dans le tableau ci-dessous pour les trois classes A, B et C (les nombres d'élèves peuvent varier, certaines questions n'ayant pas été posées à tous les enfants).

	Classe A	Classe B	Classe C	Total
Définition	22/22	21/23	14/17	57/62 92 %
Différenciation	22/22	18/22	13/17	53/61 87 %
Instrument	17/22	18/21	15/17	50/60 83 %
Globe	17/22	19/23	13/17	49/62 79 %

Pour chacune des classes nous avons aussi déterminé les pourcentages d'élèves :
- ayant parfaitement répondu à chacune des questions, pour lesquels on peut considérer que les objectifs conceptuels visés sont atteints (entretien correct)
- étant capables de donner une définition correcte et qui différencient hauteur et distance, mais qui n'arrivent pas à isoler le plan vertical correct et placent l'instrument ou le faux compas dans un plan perpendiculaire à celui qui convient (perpendiculaire)
- n'ayant pas construit le concept de hauteur du Soleil (mauvaise compréhension)

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

	Classe A	Classe B	Classe C	total
Entretien correct	16/22	20/23	14/17	50/62 81 %
Perpendiculaire	5/22	1/23	3/17	9/62 14 %
Mauvaise compréhension	0/22	2/23	0/17	2/62 3 %
autre	1/22	0/23	0/17	1/62 2 %

L'élève "autre" est en fait capable de définir correctement la hauteur du Soleil, elle différencie correctement hauteur et distance, elle sait utiliser l'instrument mais lors de l'utilisation du faux compas sur le globe elle n'arrive pas à se décentrer complètement de l'espace local et elle laisse une branche du faux compas parallèle au sol de la classe, quelle que soit la position de l'observateur sur le globe.

Les résultats de ces entretiens confirment ceux des questionnaires pour ce qui est des définitions de la hauteur du Soleil et de la différenciation hauteur-distance. D'autre part on constate que les élèves manipulent bien l'instrument (83 %).

la majorité des élèves maîtrisent le concept en fin de séquence

Les résultats les plus probants sont ceux obtenus pour la dernière question. En effet cette question est complexe pour les élèves, il s'agit pour eux de se décentrer de l'espace local et de manipuler dans l'espace astronomique. Ils doivent sélectionner eux-mêmes le plan vertical contenant l'observateur et le Soleil, plan qui n'est plus matérialisé, puis imaginer un voyage à la surface de la Terre pour discuter de l'évolution de la hauteur du Soleil. Malgré la difficulté de cette question, le pourcentage de bonnes réponses est très élevé (79 %). On constate que l'erreur consistant à sélectionner un plan perpendiculaire au plan correct est présente chez 14 % des élèves. Cette erreur se manifeste principalement dans la classe A dans laquelle la difficulté apparaissait déjà de façon assez importante au cours des séances.

On observe une bonne cohérence entre les réponses obtenues aux QCM et au cours des entretiens pour ce qui est des définitions. Les entretiens permettent, de plus, de révéler des difficultés dans la structuration de l'espace astronomique.

Ici aussi, les résultats sont proches dans les classes A et B, ayant utilisé les deux méthodes ombre et visée successivement, et dans la classe C qui n'a utilisé que la méthode de visée.

5.3. Comparaison ombre-visée

Nous avons aussi cherché à savoir si les élèves qui avaient utilisé les méthodes de l'ombre puis de la visée étaient capables de faire le lien entre ces deux méthodes. Aussi avons-nous proposé des questionnaires à l'issue de la séquence (voir ci-contre).

Certains élèves (4 dans la classe A et 5 dans la classe B) n'ont pas compris l'énoncé de la première question : ils ont considéré que le trait horizontal représentant le sol correspondait à l'ombre du bâton. Nous n'avons donc pas pu tenir compte de leurs résultats à la question 2, aucun des angles proposés ne correspondant alors à leurs schémas.

Les résultats obtenus pour les autres élèves sont résumés dans le tableau ci-dessous :

	Classe A (19 réponses)	Classe B (15 réponses)
Exercice juste	17	7
Erreur de précision	1	6
Une erreur	1	2

On remarque, pour la classe B, un nombre élevé de réponses imprécises. Les valeurs des angles pour les relevés 2 et 3 sont très voisines. Nous avons considéré, lorsque la seule erreur portait sur le choix du relevé 3 à la place du 2, qu'il s'agissait d'un problème d'imprécision, d'autant plus que, du fait de leurs progressions en mathématiques, les élèves de cette classe sont moins familiarisés avec l'utilisation des gabarits que ceux de la classe A.

le niveau de conceptualisation visé est atteint par une grande majorité d'élèves

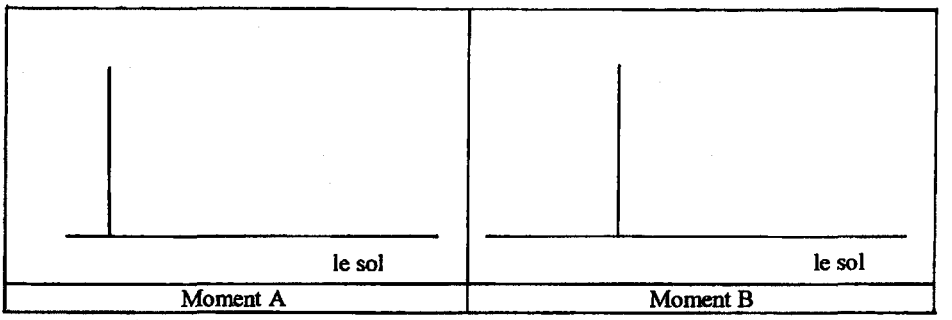
Le nombre d'élèves n'ayant pas reconnu l'égalité des angles représentant la hauteur du Soleil dans les deux situations est faible dans les deux classes. De nombreux élèves ont donc été capables dans chaque méthode, d'identifier, cet angle. Ils ont d'autre part été capables d'utiliser correctement une méthode de comparaison des angles. La conjugaison de ces deux exigences, nécessaires à la résolution de la tâche, rend cet exercice difficile. On peut donc considérer que la grande majorité des élèves a bien fait le lien entre les deux méthodes et conceptualisé la hauteur du Soleil.

Nom :

Un élève a mesuré la hauteur du Soleil à deux moments différents (moment A et moment B) en utilisant la méthode de l'ombre. Il a posé verticalement un bâton de 3 cm de hauteur et il a mesuré la longueur de son ombre. Il a trouvé les valeurs suivantes :

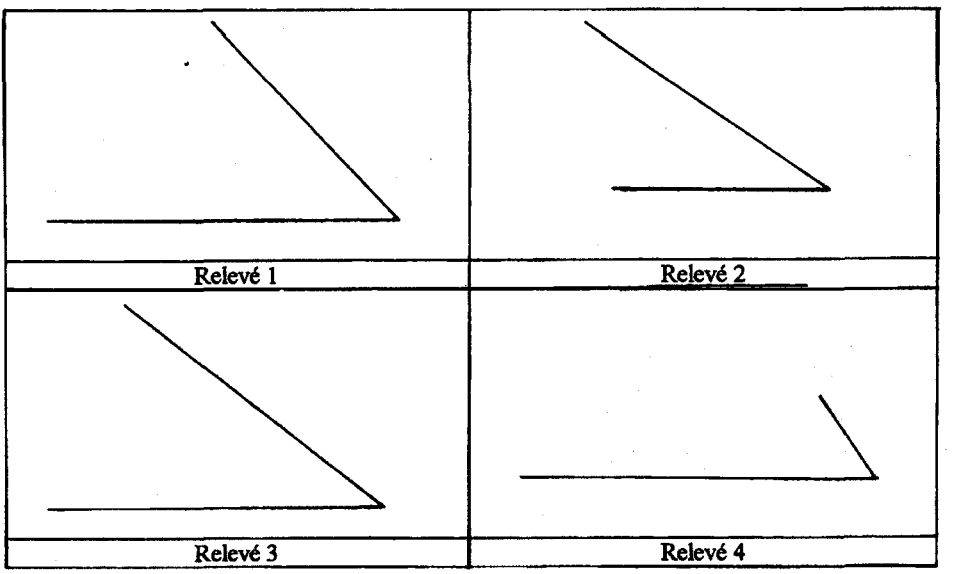
Moment A : longueur de l'ombre = 4,5 cm
Moment B : longueur de l'ombre = 2 cm

1 - Dessine avec précision les deux expériences, en traçant le rayon de Soleil qui passe par le bout du crayon. Colorie en rouge l'angle qui représente la hauteur du Soleil à chaque moment.



Moment A	Moment B

Il a aussi relevé la hauteur du Soleil avec l'instrument de visée à plusieurs moments dans la journée, en oubliant de noter ces moments. Il a fait des relevés à 4 moments différents : ces relevés sont représentés ci-dessous (relevés 1, 2, 3 et 4).



Relevé 1	Relevé 2
Relevé 3	Relevé 4

2- Quel relevé correspond au moment A ? ----------

Quel relevé correspond au moment B ? ----------

6. CONCLUSION

Un des objectifs de cette recherche était d'évaluer la capacité d'élèves âgés d'une dizaine d'années à concevoir la hauteur du Soleil comme l'angle entre la direction du Soleil et le plan horizontal, sachant qu'au départ aucun d'entre eux n'était capable de définir cette grandeur. Les résultats des évaluations montrent que la grande majorité des élèves ayant participé à cette recherche ont atteint, à la fin des séquences, le niveau de conceptualisation visé. En particulier l'identification de la hauteur du Soleil à un angle, et non plus à une distance, est acquise par plus de 80 % des élèves.

Il serait intéressant de poursuivre cette étude en intégrant la variable didactique "maîtrise du concept d'angle". Pour cela on pourrait travailler avec des classes ayant déjà étudié les angles dans leur cursus antérieur et avec d'autres classes dans lesquelles cette notion n'a pas été travaillée.

le travail dans un espace à trois dimensions est accessible à des élèves de cet âge

Notons que le travail dans un espace à trois dimensions ne constitue pas un obstacle insurmontable pour des enfants de cet âge. Rappelons en effet que les situations faisant intervenir le concept d'angle dans l'espace réel que nous avions testées précédemment donnaient des résultats positifs, mais se traitaient dans un plan. Ce n'est pas le cas dans la situation envisagée ici, cependant la difficulté à identifier le plan vertical contenant l'observateur et le Soleil est surmontée par la majorité des élèves. Les entretiens réalisés font apparaître toutefois, pour 14 % d'entre eux, une confusion entre ce plan et le plan perpendiculaire passant par l'observateur. Il s'agit donc d'une difficulté à ne pas négliger.

la méthode de visée est plus pertinente si l'objectif est de conceptualiser la hauteur du Soleil

Le deuxième point de notre analyse concerne la comparaison des deux méthodes utilisées pour déterminer la hauteur du Soleil. Nos résultats montrent qu'après avoir utilisé la méthode de l'ombre, un grand nombre d'élèves (les deux-tiers) continuent à confondre la hauteur du Soleil avec une distance malgré le travail réalisé. Pour eux l'ambiguïté n'a pas été levée et l'obstacle n'est pas franchi. Dans la classe n'ayant utilisé que la visée directe, en dehors de deux élèves en grande difficulté face à cette notion, on obtient des résultats nettement plus satisfaisants. Ils sont proches de ceux obtenus dans les deux autres classes après utilisation successive des deux méthodes, et pour un "coût didactique" nettement inférieur (3 séances d'une heure environ au lieu de 6). Il semble donc que la méthode de la visée soit plus pertinente si l'objectif est de conceptualiser la hauteur du Soleil.

la conception et la manipulation de l'instrument de mesure constitue une aide didactique à cette conceptualisation

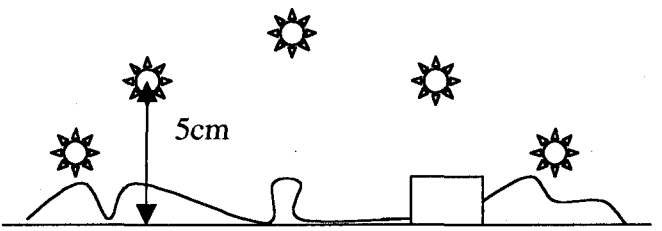
On peut considérer que les phases de conception et de manipulation de l'instrument de mesure contribuent de façon prépondérante à cette conceptualisation. En effet, dès la phase de conception, l'instrument constitue une aide didactique à la conceptualisation.

Rappelons que cette méthode n'est pas celle qui est choisie spontanément par la majorité des élèves au départ, une incitation du maître sera donc nécessaire pour les orienter dans cette direction.

utilisation des relevés...

Se pose enfin le problème de l'exploitation des relevés effectués par les élèves. En effet les relevés des positions du Soleil ont souvent comme aboutissement la représentation du mouvement apparent du Soleil. Classiquement on cherche à représenter ce mouvement par rapport à l'horizon, essentiellement dans le but de le conserver "en mémoire", pour étudier son évolution au fil des saisons. Sur cette représentation l'horizon est souvent photographié et figuré par une bande horizontale collée sur un plan :

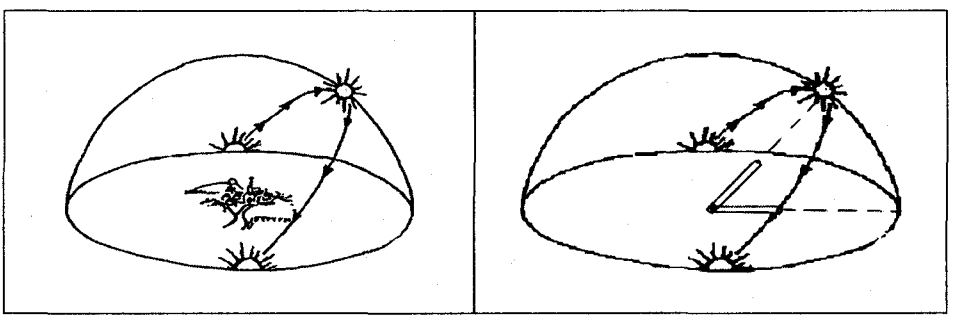
...pour la représentation du mouvement apparent du Soleil



mais risque d'obstacle didactique

Les élèves reportent ensuite sur cette représentation, pour traduire la hauteur du Soleil, une distance : par exemple, si le Soleil est à 50° de haut, on le placera à 5 cm de la ligne représentant l'horizon, l'échelle étant choisie par le maître. Il est certain que cette représentation risque de déstabiliser les élèves en introduisant à nouveau la confusion angle-distance et peut constituer, *a posteriori*, un obstacle didactique.

Si on souhaite représenter le mouvement apparent du Soleil, une représentation en trois dimensions s'appuyant sur le modèle d'une voûte céleste demi-sphérique permet d'éviter le recours à une mesure de distance et de renforcer, au contraire, la conceptualisation d'une hauteur angulaire.



Lorsque cette représentation n'est pas possible pour des problèmes matériels ou pas souhaitée du fait d'un investissement en temps jugé trop important, il nous semble préférable d'éviter toute représentation du mouvement apparent du Soleil.

intérêt de l'interprétation des différences de hauteur angulaire

Des relevés de la hauteur du Soleil à midi solaire suffisent à mettre en évidence des différences importantes selon les saisons. Ces différences de hauteurs angulaires sont ensuite faciles à interpréter en modélisant la situation à l'aide de globes terrestres (Merle, 2000), sans que le passage par une représentation du mouvement apparent soit nécessaire.

Hélène MERLE,
LIRDEF, IUFM de Montpellier
Valérie MUNIER,
LDSP, Université Paris 7

BIBLIOGRAPHIE

BERTHELOT, R. & SALIN, M.-H. (1993-1994). L'enseignement de la géométrie à l'école primaire. *Grand N, 53.*

BERTHELOT, R. & SALIN, M.-H. (1994-1995). Un processus d'enseignement des angles au cycle III. *Grand N, 56.*

BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (14 février 2002). Programme de l'école primaire. Bulletin officiel n° 1. Paris. Ministère de l'éducation nationale.

GUESNE, E., TIBERGHIEN, A. & DELACÔTE, G. (1978). Méthodes et résultats concernant l'analyse des conceptions des élèves dans différents domaines de la physique. Deux exemples : les notions de chaleur et de lumière. *Revue française de pédagogie, 45,* 25-32.

KAMINSKI, W. (1989). Conception des enfants (et des autres) sur la lumière. *BUP, 716,* 973-996.

MERLE, H. (2000). Comment aider à modéliser "Le ciel et la Terre". *Aster, 31,* 37-70.

MUNIER, V. (2001). La construction du concept d'angle à l'école élémentaire. Une approche interdisciplinaire mathématiques-physique. Mémoire de DEA. Université Montpellier II

MUNIER, V. & MERLE, H. (2002). Changement conceptuel : du repérage dune graduation sur une boussole au concept d'angle à l'école élémentaire (enfants de 10-11 ans), à paraître dans les actes des 6e journées internationales de didactique des sciences de Sfax, Tunisie.

MUNIER, V. & MERLE, H. (2003). Une approche expérimentale du concept d'angle à l'école élémentaire. Colloque international sur l'enseignement des sciences : expérimentation et construction des concepts. Charleville-Mézières.

ROLANDO, J.-M. (1993). L'astronomie, la Terre et les astres... CDDP de Haute Savoie.